

LES VARIATIONS SAISONNIÈRES
DU MÉTABOLISME DE BASE
ET DE LA THYROÏDE
CHEZ LES MICROTINÉS

par

Nicole RIGAUDIÈRE

Laboratoire de Physiologie animale
Faculté des Sciences de Clermont

1968
—

Extrait des *ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIOLOGIQUES*
1969, Vol. 23, N° 2



**ÉDITIONS DU CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**
— 15, quai Anatole-France, PARIS-7° —

**ARCHIVES
DES SCIENCES PHYSIOLOGIQUES**

REVUE TRIMESTRIELLE

Présidents du Comité de rédaction :

E.-F. TERROINE, professeur honoraire de l'Université de Strasbourg.

H. HERMANN, professeur honoraire à la Faculté de Médecine de Lyon.

R. JACQUOT, directeur du Centre de Recherches sur la Nutrition (Centre national de la Recherche scientifique).

Rédacteur en chef :

M^{lle} A. GAUCHER, C.N.E.R.N.A., 71, boulevard Pereire, Paris (17^e). Tél. : CARnot 66-24 à 28, poste 371.

Les ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIOLOGIQUES sont consacrées uniquement à la publication de mémoires originaux, d'une certaine ampleur, apportant les résultats de travaux de recherches. A côté des faits nouveaux qui y sont consignés et de la description des techniques qui en ont permis l'acquisition, les mémoires renferment toujours une assez longue discussion de la signification des résultats acquis par leurs auteurs et du progrès que ces résultats ont permis dans les domaines explorés.

Les mémoires publiés par les ARCHIVES traitent des aspects les plus variés des Sciences Physiologiques. On y trouve côte à côte des études de physiologie fonctionnelle et de physiologie cellulaire (êtres supérieurs et micro-organismes); d'énergétique et de métabolisme matériel; de neuro-physiologie, endocrinologie, vitaminologie, enzymologie, psychophysiologie, pharmacodynamie.

MÉMOIRES PUBLIÉS EN 1968 (Vol. 22)

CLEMENT J. et DI COSTANZO G. — Études des phospholipides dans la stéatose provoquée par le tétrachlorure de carbone.

LORIETTE Cl. — Influence de l'administration des matières grasses élaïdisées sur l'incorporation et la mobilisation des acides gras endogènes. Recherches sur les lipides corporels du porc.

- BONNAFOUS R. et RAYNAUD P. — Mise en évidence d'une activité lysante du colon proximal sur les microorganismes du tube digestif du lapin.
- HITIER Y. — Influence de l'avitaminose C aiguë sur l'activité de la desoxyribonucléase I du cobaye.
- HUBERT M. — Contribution à l'étude de l'excrétion chez les myriapodes (progonéathes et opisthognéathes).
- CHANY E. et AUJARD C. — Protection par l'hydrocortisone de cellules KB soumises à l'action de différents agents d'agression.
- LE MAGNEN J. et TALLON S. — Équivalence des apports caloriques, glucidiques et lipidiques dans la régularisation de la prise alimentaire chez le rat.
- SCHWANDER J. — Étude de quelques aspects du métabolisme du glucose et de l'acide glutamique au niveau des lobes optiques du poulet au cours du développement embryonnaire.
- RAZET P. et DAGOBERTE C. — Recherches des enzymes de la chaîne de l'uricolyse chez les mollusques terrestres et dulçaquicoles.
- PHAN HOANG HUAN et LE VAN HUNG. — Influence de l'acide pantothénique et du coenzyme A dans l'absorption jéjunale du glucose.
- MEYER-SCHWERTZ M. Th., GEBER M. et MARBACH G. — Effets de deux types de bruits sur le rythme cardiaque de l'homme immobile astreint à une attention visuelle soutenue.
- CASTAGNA M. et CHAUVEAU J. — Caractéristiques chimiques et enzymatiques des hépatocytes isolés.
- BARON P., HUOT A. et TREMOLIÈRES J. — Un nouvel appareil de mesure des échanges respiratoires du rat blanc en circuit ouvert.
- COMBESCOT Ch., DEMARET J., REYNOUARD F. et LEMONNIER D. — Rôle de la vitamine A et du taux lipidique dans la kératinisation de l'épithélium vaginal du rat sous l'influence des œstrogènes.
- CORRIOL J. et ROHNER J.-J. — Rôle de la température de l'eau dans la bradycardie d'immersion de la face.
- BUCHÉL L. et LEVY J. — Examen critique d'un test pharmacologique en fonction de données biochimiques : sommeil de rappel provoqué par des substances psychotropes chez le rat.
- HITIER Y. — Activité de la desoxyribonucléase acide durant l'évolution de la carence en acide ascorbique chez le cobaye.
- BOUCROT P. et CLÉMENT J. — Étude des triglycérides des chylomicrons lymphatiques séparés par chromatographie sur gel de silice imprégné de nitrate d'argent : mise en évidence de triglycérides d'origine endogène.
- POTIER DE COURCY G. et TERROINE Th. — Conséquences chez le rat de la carence en riboflavine sur la composition globale de certains tissus maternels et fœtaux.
- ASCHKENASY A. — Données nouvelles sur le mécanisme de l'inhibition de l'érythropoïèse au début de l'inanition azotée. Probabilité d'une réduction rénale, splénique et hépatique de l'érythropoïétine chez des rats carencés en protéines.
- PHAN HOANG HUAN et LE VAN HUNG. — Effets du coenzyme A et de l'acide pantothéniques sur la glycogène-synthétase du foie de rat.
- VELLAS F. — Le rôle de la glutamine dans l'uréogénèse de la carpe (*Cyprinus Carpio* L.).
- GONTZEA L., BISTRICEANU E., DRAGHICESCO M. et MANEA M. — Le rôle des protéines dans l'intoxication chronique au toluène.
- TERROINE Th., BUISSON F., BERTEAUX O. et HITIER Y. — Activité desoxyribonucléasique et dégénérescence testiculaire dans diverses avitaminoses.
- AUJARD C. et CHANY E. — Influence de la quantité de cellulesensemencées sur la fixation au verre de cellules KB. Rôle du sérum dans cette fixation.
- PERETIANU J. — Teneur en corticostérone du sang et des surrénales chez le rat nourri avec un régime contenant un excès en méthionine.
- PEQUIN L. et SERFATY F. — La régulation hépatique et intestinale de l'ammoniémie chez la carpe.

BANGE C., BANGE-BARNOUD R., RASHIDI R., DION M. et PERES G. — Étude critique des effets de l'hypercapnie sur le taux et la répartition de l'azote α -aminé du sang chez le rat.

ARDISSON J.-L. et CATIER J. — Rôle du jéjunum dans l'osmorégulation des solutés à pression osmotique variable.

HITIER Y. et TERROINE Th. — Déséquilibre tissulaire en fer et activité de la désoxyribonucléase II.

SPACH C. — Teneurs en eau, en sodium et en potassium du cœur de rat perfusé à 37 °C. Étude de leur évolution au cours de la perfusion.

GAUDIN-HARDING F., BOIS-JOYEUX B. et PINTA M. — Carence protéique expérimentale et éléments minéraux.

SNEER A., PALADE M., HERSCOVICI B., PAPP E. et CONSTANTIN E. — Étude de l'élimination urinaire de l'acide ascorbique et des corticoides surrénaux sous l'influence de l'administration de la vitamine C chez le rat.

Les ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIOLOGIQUES publient 4 fascicules par an d'environ 125 pages chacun.

Le montant de l'abonnement annuel est de 100 F.

BULLETIN D'ABONNEMENT

à faire parvenir aux

ÉDITIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

15, quai Anatole-France, PARIS-7^e

Nom :

Adresse :

Désire souscrire abonnement(s) aux

ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIOLOGIQUES, pour l'année

au prix de 100 F l'abonnement ⁽¹⁾.

Date :

Signature :

(1) Le règlement peut être effectué par chèque postal (C.C.P. PARIS 9061-11) émis au nom des Éditions du C.N.R.S. ou chèque bancaire ou bons UNESCO de livres.

L'abonnement part du 1^{er} janvier de chaque année.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546615_0053

LES VARIATIONS SAISONNIÈRES DU MÉTABOLISME DE BASE ET DE LA THYROÏDE CHEZ LES MICROTINÉS

par

Nicole RIGAUDIÈRE

Laboratoire de Physiologie Animale,
Faculté des Sciences de Clermont.

(Reçu le 14 octobre 1968.)

INTRODUCTION

Dans le cadre des recherches effectuées sur la physiologie des petits Mammifères sauvages non-hibernants, l'étude des cycles saisonniers occupe une place importante. En effet, ces animaux, sans passer par le stade léthargique qui définit l'hibernation, présentent au cours du cycle annuel, des variations morphologiques, métaboliques et endocriniennes. Ces variations témoignent d'un ralentissement général de l'activité physiologique au cours d'une saison, le plus souvent en hiver. Des facteurs variés ont fait l'objet d'une étude saisonnière : la prise de nourriture, le pelage, l'activité circadienne, la croissance, la composition du sang, la thermorégulation, enfin et surtout, les glandes endocrines dont les cycles ont été fréquemment décrits. Par contre, il existe peu de données sur l'évolution du métabolisme de base au cours des saisons. En effet, si les travaux relatifs à l'action de la température sur le métabolisme de

base, ou à l'influence des saisons sur les échanges respiratoires et la thermorégulation sont nombreux, rares sont ceux qui ont étudié de façon systématique le cycle saisonnier du métabolisme de base. Ainsi, les résultats sont fragmentaires et se résument à une comparaison du métabolisme de base entre l'été et l'hiver, ou se rapportent à des mesures effectuées dans des conditions qui ne sont pas celles du métabolisme de base.

Les recherches effectuées chez les Mammifères concernent principalement l'Homme et les petits Mammifères, hibernants et non-hibernants. Les *hibernants*, en dehors de leur période de sommeil, présentent beaucoup de points communs avec les Homéothermes parfaits, en particulier, leur métabolisme de base entre dans les limites des valeurs normalement admises pour les Homéothermes de même taille. Toutefois, quand arrive l'automne, une insuffisance thermorégulatrice apparaît et non seulement les Hibernants n'arrivent pas à limiter leur déperdition de calories aux températures inférieures à la neutralité thermique, mais encore le métabolisme de base lui-même diminue. Il existe donc un repos métabolique hibernant suivi d'une reprise de la calorification au moment du réveil au printemps.

Chez les *non-hibernants*, les résultats sont beaucoup plus disparates. Si l'Homme [OSIBA (39), SASAKI (50)], et certains Rongeurs [LADYGYN (36), PAPANYAN (40)] présentent un métabolisme de base plus faible en été qu'en hiver, très souvent l'on constate au contraire un niveau métabolique plus faible en hiver qu'en été. C'est le cas du *Mulot* [KALABUKHOV (34), GEB CZYNSKI (25, 26)], de la *Belette* [BAILEY (1)], de la Musaraigne aquatique [GEB CZYNSKA et GEB CZYNSKI (24)], du *Lemming* [HART et HEROUX (31)], du *Lièvre* [HART, POHL et TENER (32)] et de certains Campagnols [GRODZINSKI (28); GRODZINSKI et GORECKI (29)].

Ces différentes observations n'établissant en général que des comparaisons entre métabolisme d'été et métabolisme d'hiver, il nous a paru intéressant d'entreprendre une étude systématique du cycle saisonnier du métabolisme de base, chez les petits Rongeurs sauvages non-hibernants de la famille des Microtinés.

Il est évident que la relation intime du métabolisme de base avec les processus d'oxydations cellulaires, sa régulation par les glandes endocrines et sa dépendance étroite à l'égard des facteurs du milieu (température, éclairage, nourriture, etc.), en font un phénomène complexe. Vraisemblablement, l'adaptation du métabolisme de base aux conditions du milieu extérieur est influencée par des facteurs endocriniens qui assurent sa régulation.

Dans le but de préciser le rôle des facteurs internes dans le déterminisme du cycle métabolique, nous avons étudié le cycle histologique et hormonal de la glande thyroïde. En effet, parmi les facteurs internes, la glande thyroïde joue un rôle essentiel dans la régulation du métabolisme de base et une étude simultanée du cycle métabolique et du cycle thyroïdien s'est avérée indispensable. Toutefois, les autres glandes endocrines ne sont pas sans exercer une influence sur le métabolisme de base; aussi, il est intéressant de rappeler brièvement les caractéristiques des cycles endocriniens saisonniers afin de

dégager au cours de la discussion le rôle éventuel qu'ils exercent dans le déterminisme du cycle métabolique. La définition et les conditions de mise en évidence de ces cycles ont été données avec précision par DELOST (12). Nous rappellerons simplement les cycles endocriniens décrits jusqu'à ce jour.

Chez les *hibernants*, les glandes génitales, l'antéhypophyse, la thyroïde et le cortex surrénalien montrent des signes d'hyperactivité au printemps, au moment du réveil et des signes d'involution en automne. Pendant le sommeil hivernal, ces glandes sont en hypofonctionnement ou au repos complet. Le pancréas endocrine, les parathyroïdes et la médullo-surrénale ne subissent pas de variations morphologiques saisonnières [KAYSER et ARON (35)].

Les cycles endocriniens saisonniers des *Rongeurs sauvages non-hibernants* sont très comparables à ceux des hibernants. A titre d'exemple nous donnerons les résultats rapportés par DELOST et ses collaborateurs chez les Microtinés, animaux sur lesquels notre travail a été effectué. Le cycle thyroïdien de ces petits Rongeurs est caractérisé par un repos plus ou moins complet en hiver et un maximum d'activité en été [DELOST (10, 12); DELOST et NAUDY (20)]. En ce qui concerne le cortex surrénalien et les glandes génitales, les Microtinés présentent également un état de repos au cours de l'hiver et une forte stimulation en été [DELOST (11, 12, 13, 15); DELOST et DELOST (16, 17); DELOST et VINCENT (21)]. La médullo-surrénale subit peu de variations morphologiques; cependant BRUDIEUX et DELOST (8, 9) ont montré que la teneur surrénalienne en amines médullaires variait en fonction des saisons. Il existe un fort pourcentage d'adrénaline dans la glande en hiver, suivi d'une baisse au printemps. Le cycle de la nor-adrénaline est inversé par rapport à celui de l'adrénaline, avec un taux très élevé au printemps et en été et une chute en hiver. BRUDIEUX et DELOST (7) ont également décrit dans ces espèces un cycle saisonnier de la glycémie dont le maximum se situe au printemps et le minimum en été. L'étude de l'hypophyse reste très fragmentaire. Toutefois la synthèse des différents travaux effectués sur un grand nombre d'espèces de petits mammifères non hibernants suggère à DELOST (12) que les variations saisonnières des glandes périphériques sont probablement directement liées à celle du complexe hypothalamo-hypophysaire. Celui-ci présenterait un repos hivernal et une forte activité estivale, qui déterminerait les autres cycles endocriniens.

MATÉRIEL ET TECHNIQUES

I. ANIMAUX, CAPTURES, ÉLEVAGE

Nos expériences portent sur trois espèces de petits Rongeurs Sauvages non-hibernants de la famille des Microtinés : le Campagnol des champs (*Microtus arvalis*), le Campagnol agreste (*Microtus agrestis*) et le Campagnol roussâtre (*Eutamias glareolus*). 1.230 animaux, adultes et jeunes des deux sexes, ont été capturés dans la région de Clermont-Ferrand, de 1962 à 1968. Ils sont répartis de la manière suivante :

900 mâles et femelles, jeunes et adultes des trois espèces ont servi à établir le cycle saisonnier du métabolisme de base. Piégés d'avril 1962 à mai 1966, ils ont été utilisés le jour même de

leur capture, ou gardés jusqu'au lendemain dans une cage placée à l'extérieur, sous abri. La durée de captivité des Campagnols avant l'expérience n'excède en aucun cas 24 heures. 230 adultes des deux sexes et des trois espèces ont été sacrifiés au cours des cinq années aux différentes saisons pour l'étude histologique de la thyroïde. 100 *Microtus arvalis* adultes de sexe mâle, capturés pendant deux ans (1966 à 1968), ont servi aux dosages des hormones thyroïdiennes.

La distinction entre adulte et jeune est basée sur le poids corporel de l'animal : un poids moyen a été fixé arbitrairement dans chaque espèce et pour chaque sexe au-delà duquel les individus sont considérés comme adultes.

II. DÉTERMINATION DE LA CONSOMMATION D'OXYGÈNE ET DU MÉTABOLISME DE BASE

Les mesures de consommation d'oxygène sont faites avec l'appareil de BARGETON et KRUMM-HELLER (4), d'après la technique mise au point par ces auteurs. Avant toute mesure de consommation d'oxygène, l'animal est soumis à un jeûne de 5 à 8 heures. Ce temps correspond à une valeur du quotient respiratoire égale à 0,72. La période de mesure est précédée d'une période d'adaptation de 20 minutes, de l'animal dans l'appareil à métabolisme. La mesure est effectuée ensuite pendant 30 à 40 minutes. Seules sont retenues les expériences au cours desquelles l'animal est resté immobile et n'a pas présenté de variations de la température centrale supérieure à 1 °C, entre le début et la fin de l'expérience [PORTET et CHEVILLARD (43)].

Le métabolisme de base obtenu est exprimé en cal/m²/h. La surface est calculée d'après la formule de Meeh : $S = k \sqrt[3]{p^2}$ dans laquelle p est le poids du corps exprimé en kilogramme et k un coefficient variant avec chaque espèce. Chez le Campagnol, k a été évalué à 0,0072, [d'après MORRISSON et PEARSON (38)].

III. TECHNIQUES HISTOPHYSIOLOGIQUES

Après fixation au Bouin, les thyroïdes sont coupées en série et colorées à l'hémalum-éosine. L'état de stimulation de la thyroïde est évalué d'une part par l'examen histologique classique et d'autre part par divers tests histophysiologiques : la surface S de la plus grande section histologique transversale et centrale de chaque lobe thyroïdien; le pourcentage de colloïde (C p. 100); le rapport d/n ou index mitotique, entre le diamètre moyen des follicules et la somme du nombre de cellules épithéliales des follicules; le pourcentage d'épithélium (E p. 100); le pourcentage d'activité thyroïdienne globale (A p. 100), qui groupe les quatre tests précédents évalués en pourcentage.

IV. ÉVALUATION DE L'ACTIVITÉ HORMONALE THYROÏDIENNE UTILISATION DU RADIOIODE

Les campagnols capturés depuis moins de 24 heures, reçoivent en injection intrapéritonéale 20 microcuries d'iodure de sodium radioactif, Na 131 I, dilué dans de l'iodure stable en solution aqueuse. Ils sont gardés à la température présumée de leur nid dans les conditions naturelles et sacrifiés au moment où la fixation d'iode par la thyroïde est maximale. Le sang est recueilli sur héparine par ponction intra-cardiaque. Le plasma est séparé des hématies par centrifugation et étudié par la méthode du « Test Résine », [méthode de BLANQUET, MEYNIEL et SAVOIE (5)]. Les thyroïdes sont prélevées, leur captation d'iode est évaluée au cristal plat pour chaque animal et comparée à la dose témoin injectée; on en déduit le pourcentage de captation. Enfin elles sont soumises après hydrolyse trypsique à la chromatographie sur colonne et à la radiochromatographie [méthode de MEYNIEL, BLANQUET, BERGER, CROIZET et GAILLARD (37)]. Les différentes mesures sont faites sur des groupes de 3 à 5 animaux.

RÉSULTATS

I. LE CYCLE SAISONNIER DU MÉTABOLISME DE BASE

A. Détermination du point de neutralité thermique

L'étude du métabolisme de base a nécessité l'établissement préalable de la température de neutralité thermique chez les Microtinés. Cette température a été déterminée, d'une part pour un groupe de *Microtus arvalis* gardés pendant plusieurs mois en captivité (température de 20°, nourris *ad libitum*) et dont on est sûr que la thyroïde est en activité; d'autre part, pour des *Microtus arvalis*, *Microtus agrestis* et *Eutamias glareolus* provenant directement de la nature. Pour une même espèce, la constance des résultats d'un animal à l'autre, à savoir : l'obtention d'un métabolisme minimum lorsqu'il est mesuré entre 32° et 35°, et ceci quelle que soit la saison, nous a autorisé à utiliser pour chaque température de mesure, la moyenne annuelle de consommation d'oxygène. La figure 1 résume les résultats obtenus. Les zones de neutralité thermique ont été établies sur la signification des différences de consommation d'oxygène entre 2 températures de mesure consécutives.

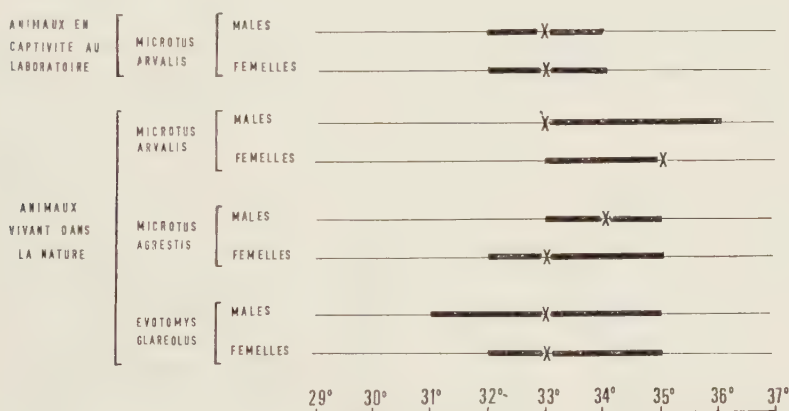


FIG. 1

Étendue de la zone de neutralité thermique chez les Microtinés en captivité au laboratoire et vivant dans la nature

(— : zone de neutralité thermique ; X : dépense énergétique minimale)

Bien que plus réduite chez les animaux captifs, la zone de neutralité thermique est sensiblement la même dans tous les cas. La température de 33° a été choisie comme point de neutralité thermique. C'est à cette température qu'ont été effectuées les mesures du métabolisme de base pour l'étude du

cycle saisonnier dans la nature. Bien que la consommation minimale d'oxygène se situe, pour les animaux dans la nature, à 35° chez *Microtus arvalis* femelle et 34° chez *Microtus agrestis* mâle, la température de 33° a été également adoptée pour ces animaux. En effet, les différences obtenues avec les valeurs à 33° ne sont pas significatives.

B. Les variations saisonnières du métabolisme de base

Les résultats sont groupés pour les trois espèces dans la figure 2.

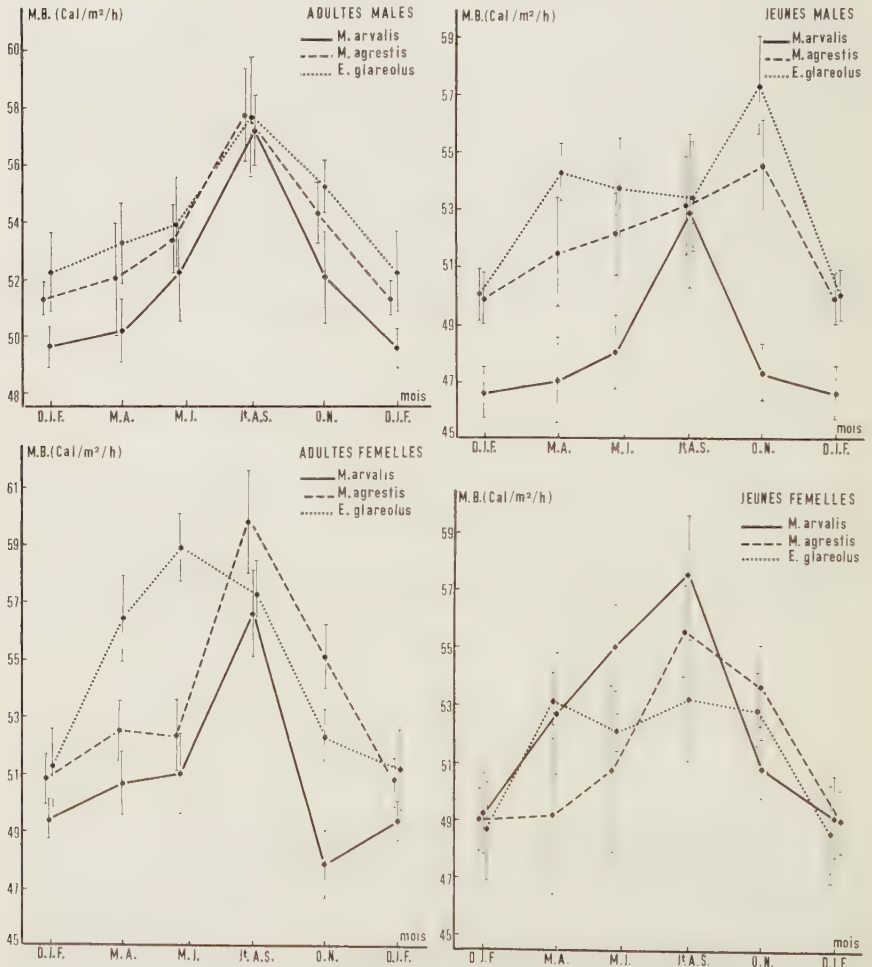


FIG. 2

Variations saisonnières du métabolisme de base
chez les Microtinés adultes et jeunes des deux sexes

1° *MICROTUS ARVALIS*

Le cycle est caractéristique, avec des valeurs minimales du métabolisme de base en hiver, une augmentation au printemps, un maximum en été et une diminution en automne.

a. *Mâles adultes.*

Les valeurs obtenues, en hiver, au printemps et en automne, ne sont pas statistiquement différentes les unes des autres; les variations restent inférieures à 5 p. 100. Par contre, en été, le métabolisme s'élève nettement et de manière significative par rapport à toutes les autres saisons; la différence hiver-été atteint 13,3 p. 100 ($p < 0,001$).

b. *Femelles adultes.*

Le métabolisme baisse brusquement à la fin de l'été (— 15,4 p. 100; $p < 0,001$); la dépense énergétique est minimale en automne (47,9 cal/m²/h). Toutefois la différence avec la valeur de l'hiver n'est pas significative. L'augmentation du métabolisme en été est significativement différente de toutes les autres saisons.

Les adultes ne présentent pas de dimorphisme sexuel.

c. *Jeunes mâles.*

Valeur minimale du métabolisme en hiver (46,6 cal/m²/h) qui ne présente pas de différence significative avec les valeurs de printemps et d'automne; valeur maximale en été (52,9 cal/m²/h), significativement différente de toutes les autres. La diminution entre l'été et l'hiver atteint 11,9 p. 100 et la chute automnale 10,6 p. 100.

d. *Jeunes femelles.*

La reprise de l'activité métabolique à la fin de l'hiver se fait plus rapidement. L'augmentation atteint 7,1 p. 100 ($0,1 < p < 0,2$) et 11, 8 p. 100 en mai-juin ($0,02 < p < 0,05$). Par contre, le métabolisme ne croît que de 4,7 p. 100 ($0,2 < p < 0,3$) de la fin du printemps à l'été. Après une chute rapide à l'automne (— 11,6 p. 100; $0,001 < p < 0,01$), qui se poursuit en décembre (— 14,6 p. 100; $0,001 < p < 0,01$), le métabolisme atteint sa valeur minimale en hiver (49,2 cal/m²/h).

Chez les jeunes il existe un dimorphisme sexuel très net, en faveur de la femelle.

2° *MICROTUS AGRESTIS*

Le cycle du métabolisme de *Microtus agrestis* est voisin de celui de *Microtus arvalis*.

a. *Mâles adultes.*

A partir d'une valeur minimale de 51,3 cal/m²/h, en hiver, le métabolisme s'élève très lentement au printemps, pour atteindre en été la valeur maximale de 57,7 cal/m²/h, qui est significativement différente des valeurs d'hiver, de printemps et d'automne. On n'observe pas de chute brusque à la fin de

l'été; la diminution du niveau métabolique à l'automne se fait très progressivement et se poursuit jusqu'en hiver.

b. *Femelles adultes.*

Le cycle est comparable en tout point à celui des mâles. Il n'y a aucun dimorphisme sexuel.

c. *Jeunes mâles.*

Le cycle est moins accentué et légèrement décalé par rapport au cycle des adultes : la production calorique maximale se situe en octobre-novembre (54,1 cal/m²/h) et la production minimale en hiver (49,9 cal/m²/h). Il se produit une reprise précoce et rapide dès le début du printemps.

d. *Jeunes femelles.*

Le métabolisme hivernal, bas de décembre à février (49,0 cal/m²/h), précède une reprise assez rapide en mars-avril, puis atteint un maximum estival avec 55,6 cal/m²/h. En octobre-novembre, le métabolisme reste élevé (53,7 cal/m²/h), la différence avec l'été n'est pas significative. C'est seulement au début de l'hiver, que le niveau métabolique s'abaisse de 11,9 p. 100 par rapport à l'été ($0,001 < p < 0,01$) et se trouve à sa plus faible valeur.

Chez les jeunes, il existe un léger dimorphisme sexuel : la remontée du niveau métabolique se produit dès la fin de l'hiver chez le mâle, à la fin du printemps chez la femelle; le maximum de la production énergétique se situe en automne chez le mâle et en été chez la femelle.

3° EVOTOMYS GLAREOLUS

Des trois espèces étudiées, *Evotomys glareolus* est celui qui présente le cycle le moins régulier. Il existe en effet des divergences entre sexes d'une part, entre adultes et jeunes d'autre part.

a. *Mâles adultes.*

Il n'y a pas de différences notables avec les deux autres espèces, et l'on retrouve un métabolisme hivernal minimal (52,2 cal/m²/h) et un métabolisme estival maximal (57,6 cal/m²/h); la différence est significative.

b. *Femelles adultes.*

L'amplitude des variations saisonnières est beaucoup plus accusée. En outre, il existe un décalage du cycle : la reprise des échanges gazeux se fait très rapidement dès la fin de l'hiver; en mars-avril, l'augmentation atteint 10,1 p. 100 ($0,01 < p < 0,02$); elle est maximale en mai-juin (+ 15 p. 100; $p < 0,001$). En plein été se produit déjà une diminution qui devient significative en automne seulement (— 8,7 p. 100; $0,01 < p < 0,02$). En hiver, la production d'énergie n'est que légèrement inférieure à celle d'octobre-novembre. Par rapport aux mâles, la production calorique s'élève plus rapidement au printemps et diminue plus précocement dès la fin de l'été.

c. *Jeunes mâles.*

La dépense d'énergie augmente en mars-avril de 8,6 p. 100 et se stabilise jusqu'à la fin de l'été. La valeur maximale est atteinte en octobre-novembre

(57,3 cal/m²/h). Le métabolisme décroît ensuite très rapidement; il est de 50,0 cal/m²/h en hiver.

d. Jeunes femelles.

La seule différence significative observée se situe entre l'hiver (48,6 cal/m²/h) et le printemps (53,2 cal/m²/h), période durant laquelle la valeur maximale est déjà atteinte. A partir de mars-avril, le cycle est très estompé, le métabolisme de base décrivant un plateau jusqu'en octobre-novembre. En hiver, la consommation d'oxygène s'abaisse de 8 p. 100. Mis à part une valeur plus faible en automne, ce cycle est assez comparable à celui des jeunes mâles.

4^o CONCLUSIONS

1^o Il existe chez les Microtinés un cycle saisonnier typique du métabolisme de base. Il se caractérise par un ralentissement de la dépense énergétique en hiver et une période de forte activité métabolique, dont le maximum se situe suivant l'espèce, l'âge et le sexe, entre avril et octobre, le plus souvent en juillet-septembre. Les légères différences constatées entre espèces ne sont que la conséquence d'un décalage du cycle saisonnier dans le temps.

2^o Les différences entre les valeurs extrêmes du métabolisme de base, en hiver et en été sont de l'ordre de 16 p. 100; le métabolisme reste relativement important en hiver;

3^o Nos résultats sont en accord avec ceux de GRODZINSKI et GORECKI (29), qui ont mis en évidence pour plusieurs espèces de petits Rongeurs de Pologne (*Apodemus sylvaticus*, *Eutamias glareolus*, *Microtus arvalis*) un métabolisme de base plus bas en hiver qu'en été, avec une amplitude moyenne des variations de 11 p. 100. Dans nos expériences, cette amplitude moyenne est de 12 p. 100. Nos observations concordent également avec celles de GEBczynski (25, 26), qui a décrit, chez les Microtinés de Pologne, des variations saisonnières de la production de chaleur totale. Par contre elles ne confirment pas les résultats de PAPANYAN (40), auteur pour lequel, chez les Microtinés de Russie, la plus faible intensité métabolique se situerait en été. Ces divergences pourraient peut-être s'expliquer par la différence de biotope.

4^o Les valeurs moyennes du métabolisme de base se situent pour nos Microtinés, entre 1 104 et 1 440 cal/m²/24 h. PEARSON (41) donne des valeurs similaires pour certains petits Rongeurs d'Amérique, dont le poids se situe, comme celui de nos campagnols, entre 17 et 30 g : *Peromyscus leucopus noveboracensis* : 1 460 cal/m²/24 h; *Peromyscus maniculatus gracilis* : 1 070 cal/m²/24 h; *Microtus pennsylvanicus* : 1 685, cal/m²/24 h; *Clethrionomys gapperi gapperi* : 1 620 cal/m²/24 h; *Mus musculus* : 1 242 cal/m²/24 h.

5^o L'étude des variations saisonnières du métabolisme de base nous amène à la conclusion suivante : les petits Rongeurs sauvages non-hibernants réagissent, vis-à-vis des facteurs saisonniers, non pas comme des Homéothermes parfaits, en augmentant par exemple leur métabolisme en hiver, mais plutôt comme des Hibernants. Probablement, et c'est ce que nous allons essayer de vérifier dans le chapitre suivant, la glande thyroïde qui assure la thermoré-

gulation chimique ne subirait pas une involution complète en hiver et devrait maintenir l'homéothermie par une thermorégulation minimale, préservant ainsi l'animal de l'hibernation. Les Microtinés pourraient être classés dans un groupe de Mammifères à part, à thermorégulation chimique déficiente (ou plus économique) en hiver et qui présenteraient des échanges gazeux accrus en été, par opposition aux hibernants, qui ont leur maximum d'échanges après l'éveil et aux Mammifères non-hibernants dont la calorification est maximale en hiver.

II. LES VARIATIONS HISTOPHYSIOLOGIQUES SAISONNIÈRES DE LA GLANDE THYROÏDE

Le cycle histologique de la thyroïde a été déterminé chez des adultes mâles et femelles des 3 espèces. Les résultats obtenus pour les différents groupes d'animaux sont assez comparables [RIGAUDIÈRE (46)].

A. *Microtus arvalis*

La thyroïde présente chez *Microtus arvalis* des variations saisonnières caractéristiques, qui permettent d'établir un cycle saisonnier en 5 périodes correspondant aux périodes du cycle métabolique (tableau I et planche hors-texte).

TABLEAU 1

*Variations saisonnières des tests histophysiologiques thyroïdiens,
chez Microtus arvalis mâle et femelle*

Sexe	Période de l'année	Poids du corps g	Tests histophysiologiques				
			S ($\frac{1}{100}$ mm ²)	E p. 100	$\frac{d}{n}$	C p. 100	A p. 100
Mâle	Décembre ...	18,6	90,7	48,7	2,11	40,0	29,1
	Janvier.....						
	Février.....	± 0,6	± 9,6	± 2,0	± 0,08	+ 1,7	± 1,6
	Mars.....	18,2	105,9	61,5	1,63	27,2	46,6
	Avril.....	± 0,6	± 26,4	± 4,0	± 0,07	± 2,1	± 3,4
	Mai.....	19,4	253,8	78,6	1,33	18,4	68,8
	Juin.....	+ 1,2	+ 49,3	+ 3,8	+ 0,07	± 3,6	+ 4,0
	Juillet.....	22,6	253,7	86,6	1,23	14,7	76,1
	Août.....	± 2,1	± 74,4	± 1,8	± 0,05	± 0,6	± 3,5
	Septembre...						
	Octobre.....	20,8	103,5	71,5	1,95	25,6	46,1
	Novembre....	± 1,5	± 23,7	± 5,1	± 0,16	± 7,6	± 6,9

Sexe	Période de l'année	Poids du corps g	Tests histophysiologiques				
			S $\left(\frac{1}{100} \text{ mm}^2\right)$	E p. 100	$\frac{d}{n}$	C p. 100	A p. 100
Femelle..	Décembre....	17,5	89,4	45,7	1,87	45,0	29,9
	Janvier.....	± 1,0	± 11,2	± 2,2	± 0,07	± 3,0	± 2,7
	Février.....						
	Mars.....	17,4	148,7	63,4	1,59	31,2	48,5
	Avril.....	± 1,2	± 20,1	± 2,8	± 0,04	± 1,3	± 1,2
	Mai.....	19,0	162,7	85,7	1,09	11,3	71,0
	Juin.....	± 1,1	± 21,9	± 3,0	± 0,02	± 2,2	± 1,8
	Juillet.....	18,1	147,9	78,3	1,34	21,4	61,4
	Août.....	± 0,7	± 35,5	± 2,8	± 0,06	± 2,5	± 3,8
	Septembre....						
	Octobre.....	17,3	64,5	57,5	1,81	38,9	35,6
	Novembre...	± 1,4	± 5,6	± 6,0	± 0,02	± 8,9	± 8,6

1^o MÂLES

Pendant l'hiver, de *décembre à fin février*, les thyroïdes sont en général très petites. Toutefois, très peu sont au repos complet et la plupart présentent en leur centre, un foyer d'activité plus ou moins étendu. Durant cette période, le test d'activité globale A p. 100 et tous les autres tests histo-physiologiques, passent par un minimum. En *mars-avril*, l'évolution par rapport à la période précédente est assez sensible; les follicules thyroïdiens présentent des signes d'activité plus intenses et les tests indiquent une nette augmentation de l'activité thyroïdienne. En *mai-juin*, il se produit des modifications profondes, qui témoignent d'une stimulation intense par TSH. Il apparaît des phénomènes d'hypertrophie cellulaire et d'hyperplasie, qui entraînent une augmentation considérable du volume de la glande, et une résorption transcellulaire très poussée de la colloïde, qui aboutit souvent au collapsus des vésicules; les cellules épithéliales sont le siège de fréquentes mitoses. Chez certains animaux, nous avons constaté une prolifération cellulaire considérable, produisant une image folliculaire extrêmement complexe, formée de plis en éventail. Cette structure, décrite par PONSE (42) sous le nom d'hyperplasie végétante, est comparable à celle d'un goître basedowien hyperfonctionnel. Une telle hyperplasie existe chez 50 p. 100 des mâles pendant cette période. La grande variation des tests en mai-juin, traduit les modifications profondes subies alors par la glande. Le test A p. 100 accuse une augmentation de 47,6 p. 100 de l'activité thyroïdienne globale par rapport à mars-avril; la différence est très significative. La période estivale, *juillet-septembre*, voit s'amplifier les phénomènes précédents; l'activité globale A p. 100 s'accroît encore de 10,6 p. 100 ($0,1 < p < 0,2$). Après l'hyperfonctionnement estival, la thyroïde subit en *octobre-novembre* une involution très nette; les acini se déplissent et

se remplissent de colloïde; le volume glandulaire diminue. Seuls les follicules périphériques involuent jusqu'au repos total; dans les follicules centraux persiste une activité assez importante. L'ensemble des tests traduit le ralentissement très net de l'activité thyroïdienne et A p. 100 diminue de 31,7 p. 100 ($p < 0,001$).

2° FEMELLES

Le cycle histophysiologique est comparable à celui des mâles. Pendant la période hivernale, de *décembre à fin-février*, l'activité thyroïdienne est très réduite, sans être totalement arrêtée; au printemps, la stimulation hypophysaire apparaît encore plus nettement que chez les mâles; en *mai-juin*, sous l'action de l'activité thyrotrope intense, la thyroïde devient hyperfonctionnelle et atteint son maximum de développement. Les mêmes phénomènes d'hyperplasie et d'hypertrophie apparaissent, mais à un degré moindre; 20 p. 100 des glandes seulement sont le siège d'une hyperplasie végétante. Alors que les phénomènes d'hyperfonctionnement s'accroissent encore de *juillet à septembre* chez le mâle, chez la femelle, ils régressent sensiblement et le test A p. 100 subit alors une diminution de 13,5 p. 100 ($0,02 < p < 0,05$). Ce processus de ralentissement se poursuit, comme chez le mâle, en *octobre-novembre*.

B. *Microtus agrestis*

Nous décrivons très brièvement ce cycle, car il est très comparable à celui de *Microtus arvalis* (Tableau II).

TABLEAU II
*Variations saisonnières des tests histophysiologiques thyroïdiens
chez Microtus agrestis, mâles et femelles*

Sexe	Période de l'année	Poids du corps g	Tests histophysiologiques				
			S ($\frac{1}{100} \text{ mm}^2$)	E p. 100	$\frac{d}{n}$	C p. 100	A p. 100
Mâle.....	Décembre....	19,1	77,5	42,4	2,69	45,1	26,1
	Janvier	± 0,7	± 6,8	± 0,9	± 0,11	± 0,7	± 0,9
	Février						
	Mars.....	25,3	105,6	62,3	2,21	33,0	45,1
	Avril	± 1,3	± 10,2	± 2,7	± 0,06	± 3,0	± 2,5
	Mai	28,2	112,5	75,9	1,40	21,8	62,6
	Juin	± 3,9	± 10,5	± 2,8	± 0,09	± 2,5	± 2,5
	Juillet	26,5	143,7	83,5	1,19	15,0	72,5
	Août	± 1,9	± 26,5	± 3,3	± 0,05	± 2,2	± 3,9
	Septembre...						
	Octobre	18,8	105,5	64,0	1,83	30,4	49,5
	Novembre ...	± 0,9	± 8,7	± 3,4	± 0,09	± 3,5	± 4,0

Sexe	Période de l'année	Poids du corps g	Tests histophysiologiques				
			S ($\frac{1}{100} \text{ mm}^2$)	E p. 100	d u	C p. 100	A p. 100
Femelle..	Décembre...	18,8	79,1	35,2	2,46	52,2	23,1
	Janvier.....	+ 1,0	+ 8,7	+ 1,9	+ 0,12	+ 2,3	+ 2,2
	Février.....						
	Mars.....	22,2	147,3	48,6	1,97	45,2	40,7
	Avril.....	+ 1,7	+ 17,0	+ 3,8	+ 0,09	+ 6,5	+ 3,6
	Mai.....	20,2	212,2	74,5	1,42	19,8	70,6
	Juin.....	+ 1,4	+ 34,1	+ 4,7	+ 0,06	+ 4,4	+ 6,2
	Juillet.....	18,4	148,5	78,6	1,36	15,4	69,3
	Août.....	+ 0,9	+ 29,7	+ 3,4	+ 0,10	+ 2,7	+ 4,9
	Septembre..						
	Octobre.....	17,5	+ 100,0	48,0	1,97	43,8	40,9
	Novembre...	+ 1,0	+ 13,0	+ 4,6	+ 0,08	+ 3,9	+ 4,0

Pendant l'hiver, l'activité thyroïdienne est plus faible dans cette espèce que chez *Microtus arvalis*. 50 p. 100 des mâles et 75 p. 100 des femelles examinés, présentent un repos thyroïdien complet caractéristique : épithélium plat, noyaux pycnotiques, colloïde lamelleuse. En mars-avril, on note, dans les deux sexes, une accélération intense de la stimulation thyroïdienne qui se manifeste par un développement important de l'épithélium sécrétoire. Le test A p. 100 augmente, par rapport à l'hiver, de 72,8 p. 100 chez les mâles et de 76,2 p. 100 chez les femelles. En mai-juin, l'activation thyroïdienne par TSH se poursuit, mais alors que le stade d'hyperfonctionnement maximum est atteint chez les femelles, ce n'est qu'en juillet-septembre chez les mâles, que l'on observe les phénomènes d'hyperactivité. L'hyperplasie végétante ne touche que deux individus mâles et 30 p. 100 des individus femelles. En octobre-novembre, l'activation thyroïdienne diminue et il se produit une mise au repos relative de la glande, celle-ci présentant, selon les cas, une activité normale, ralentie ou nulle.

C. *Evotomys glareolus*

L'examen histologique nous a conduit à diviser, dans cette espèce, le cycle en quatre périodes. En effet, chez *Evotomys*, le maximum d'activité est atteint en juin-juillet et le ralentissement s'amorce dès septembre (Tableau III).

TABLEAU III

Variations saisonnières des tests histophysiologiques thyroïdiens,
chez *Evotomys glareolus*, mâles et femelles

Sexe	Période de l'année	Poids du corps g	Tests histophysiologiques				
			S ($\frac{1}{100}$ mm ²)	E p. 100	$\frac{d}{n}$	C p. 100	A p. 100
Mâle	Décembre ...	19,0	67,8	41,4	2,21	47,8	19,0
	Janvier	± 0,7	± 12,2	± 1,8	± 0,10	± 1,8	± 2,3
	Février						
	Mars	18,7	70,2	51,0	1,83	44,2	31,4
	Avril	± 0,6	± 10,4	± 3,6	± 0,07	± 1,4	± 4,3
	Mai	21,9	145,5	81,8	1,42	18,3	74,6
	Juin	± 0,6					
	Juillet	17,8					
	Août	± 1,6	± 33,0	± 5,5	± 0,19	± 3,9	± 11,6
	Septembre...	17,8	84,7	60,0	1,74	35,3	43,1
	Octobre						
	Novembre...	± 1,6	± 9,1	± 3,7	± 0,04	± 2,5	± 3,2
Femelle...	Décembre...	18,1	81,1	44,1	1,99	46,3	26,0
	Janvier	± 0,9	± 8,5	± 2,6	± 0,06	± 2,2	± 1,9
	Février						
	Mars	19,3	89,9	61,5	1,66	36,5	45,5
	Avril	± 0,9	± 9,4	± 2,7	± 0,06	± 1,6	± 1,3
	Mai	18,0	92,2	83,7	1,00	17,4	77,0
	Juin						
	Juillet	± 0,1	± 7,2	± 6,3	± 0,00	± 3,5	± 3,4
	Août						
	Septembre...	18,9	74,3	50,4	1,67	40,1	36,3
	Octobre	± 0,8	± 5,1	± 3,4	± 0,08	± 3,8	± 3,4
	Novembre...						

Pendant la période hivernale *décembre-février*, 50 p. 100 des thyroïdes sont au repos dans les 2 sexes; les autres présentent une activité très ralentie. En *mars-avril* toutes les thyroïdes subissent le processus classique de mise en activité. Cette activation est plus importante chez les femelles. Pendant la période estivale, de *mai à août*, la thyroïde atteint son état d'activité maximale dans les 2 sexes. La stimulation est alors intense, sans que l'hypertrophie cellulaire et l'hyperplasie soient très marquées; on ne note, chez *Evotomys glareolus*, aucune des structures particulières (follicules plissés en éventail, hyperplasie végétante) qui traduisent un hyperfonctionnement considérable dans les deux autres espèces. Dès le mois de *septembre*, le ralentissement de

l'activité thyroïdienne est sensible; il s'accroît en *octobre et en novembre*, période pendant laquelle quelques thyroïdes sont déjà au repos.

D. Conclusions

1. Les trois espèces de Campagnols étudiés, *Microtus arvalis*, *Microtus agrestis*, *Eutamias glareolus*, ont un cycle thyroïdien histologique comparable. Ce cycle comprend quatre périodes : de *décembre à fin février*, la thyroïde présente un état de repos ou d'activité plus ou moins ralentie; en *mars-avril*, sous l'action de TSH, la thyroïde reprend progressivement un fonctionnement normal; de *mai à septembre*, la glande atteint son maximum de développement et de stimulation; elle est alors le siège d'une intense stimulation, pouvant aller jusqu'à l'hyperplasie, chez *Microtus arvalis* et *Microtus agrestis*. Enfin, en *octobre et novembre* apparaît la régression de l'activité glandulaire et l'involution histologique de la thyroïde.

2. Le cycle thyroïdien saisonnier des Microtinés est, en Auvergne, tout à fait comparable à celui décrit dans la région parisienne par DELOST (10, 12); nos résultats confirment pleinement un tel type de cycle thyroïdien établi pour la première fois par cet auteur.

3. Des phénomènes d'*hyperplasie végétante* sont rencontrés chez *Microtus arvalis* et *Microtus agrestis* capturés dans la région clermontoise, alors qu'ils n'existent pas dans la région parisienne [DELOST (10, 12)]. Ces structures sont difficilement explicables, car elles n'affectent pas toutes les espèces et dans les espèces où elles se rencontrent, elles ne touchent pas la totalité des animaux. Ces différences pourraient peut-être s'expliquer par un choix différent du régime alimentaire suivant les espèces et suivant les individus.

4. Des variations histologiques identiques de la thyroïde ont été observées chez d'autres Rongeurs non-hibernants, tels que le Lièvre [EICKOFF (22)] et l'Écureuil Roux ([DELOST (14)]). Par contre, en Amérique du Nord, le cycle paraît différent chez l'Écureuil [HOFFMAN et KIRKPATRICK (33)] et chez la Souris sauvage du genre *Peromyscus* [ELEFATHERIOU et ZARROW (23)]; la thyroïde de ces Rongeurs présente son maximum d'activité d'octobre à décembre et son maximum de repos pendant l'été.

5. La thyroïde des Microtinés subit en France un cycle histologique saisonnier qui peut être comparé à celui des hibernants (repos en hiver, pleine activité au printemps et en été); il apparaît inverse par rapport à celui des Homéothermes parfaits, tels que les animaux domestiques et les Rongeurs de laboratoire (stimulation hivernale, ralentissement estival).

6. Chez les Microtinés de la région clermontoise, le cycle histologique saisonnier de la thyroïde est tout à fait superposable au cycle du métabolisme de base.

7. Le repos thyroïdien histologique hivernal, constaté chez les petits Rongeurs sauvages non-hibernants, soulève le problème du maintien de l'homéothermie pendant la saison froide. Nous reviendrons sur ce problème dans la conclusion générale de ce travail.

III. LES VARIATIONS SAISONNIÈRES DU MÉTABOLISME DE L'IODE THYROÏDIEN CHEZ *MICROTUS ARVALIS*

Les méthodes utilisées pour évaluer la captation d'iode radioactif et pour séparer les composés iodés de la thyroïde et du plasma, donnent avec précision les *concentrations relatives* des dérivés iodés thyroïdiens et plasmatiques, mais non les valeurs absolues. La fraction étudiée correspond uniquement à l'iode marqué, l'iode stable n'a pas été dosé. Les résultats apportés par ces techniques renseignent convenablement sur l'hormonogenèse thyroïdienne et ses variations saisonnières chez le Campagnol. Cette étude porte uniquement sur *Microtus arvalis* de sexe mâle. L'ensemble de l'expérimentation a été effectué sur des animaux sacrifiés au moment où le taux de captation d'iode est maximum. La répartition des différents composés iodés dans la thyroïde est alors constante, ce qui facilite les comparaisons d'une expérience à l'autre. Cette période de fixation maximale a été déterminée [RICAUDIÈRE (47)]; elle se situe en toute saison entre la 18^e et la 24^e heure après l'injection.

A. Variations saisonnières de la fixation d'iode par la thyroïde

Les variations saisonnières de la fixation d'iode, 18 à 24 heures après l'injection de $^{131}\text{I}\text{Na}$, sont de faible amplitude. Elles sont marquées par une valeur basse en mai-juin (44,7 p. 100) de la dose injectée et une valeur élevée maintenue en plateau de l'automne au printemps (56 p. 100). Par rapport à la valeur de mai-juin la différence est toujours significative ($0,02 < p < 0,05$), sauf pour juillet-septembre ($0,2 < p < 0,3$),

B. Variations saisonnières des concentrations relatives des composés iodés minéraux et organiques de la thyroïde

1^o IDENTIFICATION DES COMPOSÉS IODÉS DE LA THYROÏDE DU CAMPAGNOL PAR CHROMATOGRAPHIES SUCCESSIVES SUR COLONNE ET SUR PAPIER ET PAR AUTORADIOGRAPHIE

Nous avons vérifié que les 5 composés iodés de l'hydrolysate thyroïdien de Campagnol, obtenus par chromatographie sur colonne selon la méthode de MEYNIEL, BLANQUET, BERGER, CROIZET et GAILLARD (37) étaient les mêmes que ceux de l'hydrolysate de Rat identifiés par ces mêmes auteurs. Ce contrôle a été effectué par l'analyse des différentes fractions éluées en chromatographie descendante sur papier Whatman n° 2, avec du n-butanol-acide acétique-eau, suivie d'une autoradiographie [RICAUDIÈRE (47)]. Les Rf des différents spots

obtenus sur le radiochromatogramme ont été comparés (Tableau IV) aux Rf de témoins iodés marqués par ^{131}I , correspondant aux constituants de l'hydrolysate thyroïdien de Rat, à savoir ^{131}MIT , ^{131}DIT , $^{131}\text{I Na}$, $^{131}\text{T}_4$ et $^{131}\text{T}_3$.*.

TABLEAU IV

Tableau comparatif des Rf des constituants d'un hydrolysate de Campagnol avec les Rf des constituants (témoins purs) d'un hydrolysate thyroïdien de Rat

Constituants de l'hydrolysate thyroïdien de campagnol		Constituants de l'hydrolysate thyroïdien de rat	
Fractions soumises à la chromatographie	Rf observés	Témoins marqués en ^{131}I	Rf (Meyniel 1965)
1 :		Peptides iodés indéterminés :	
p1	0,08	f1	0,06
p2	0,15	f2	0,12
p3	0,30	f3	0,18
p4	0,59	f4	0,40
p5	0,70	f5	0,60
2	0,52 — 0,56	MIT	0,50 — 0,55
3	0,64 — 0,68	DIT	0,62 — 0,67
4	0,20 — 0,23	I ⁻	0,20 — 0,22
5	0,80 — 0,83	T ₄ T ₃	0,80 — 0,85

Les Rf des fractions 2, 3, 4 et 5 sont parfaitement semblables aux Rf des témoins; on peut donc en conclure que, chez le Campagnol, les constituants iodés essentiels de l'hydrolysate thyroïdien sont les mêmes que chez le Rat : la fraction 2 correspond à la MIT, 3 à la DIT, 4 aux iodures, 5 aux iodothyronines T₄ et T₃, qui ne sont pas séparées par cette méthode chromatographique. Par contre, la similitude entre le Campagnol et le Rat ne s'étend pas à la fraction 1. Chez *Microtus arvalis*, elle est également composée de différents constituants iodés, mais ceux-ci ne correspondent pas à ceux du Rat. Tout au plus, pourrait-on assimiler p1 à la fraction rat f1 ; p2 se situe entre f2 et f3; il n'y a aucune correspondance entre les autres fractions.

(*) Les abréviations suivantes ont été utilisées dans le texte : MIT : monoiodotyrosine; DIT : diiodotyrosine; I Na : iodure de sodium; T₄ : thyroxine = tétra-iodothyronine; T₃ : tri-iodothyronine.

2° VARIATIONS SAISONNIÈRES DES COMPOSÉS IODÉS DE LA THYROÏDE

(Tableau V)

Elles ont été étudiées par chromatographie sur colonne de résine échangeuse d'ions (DOWEX 1 $\times$ 2, 200 $\times$ 400 mesh).

1. *Peptides iodés.*

Cette fraction est présente dans la thyroïde en quantité très faible toute l'année ($< 2,3$ p. 100). Elle ne subit pas de variations saisonnières sensibles. Les différences entre les valeurs de l'été et celles de l'hiver ne sont pas significatives.

2. *Les hormones ($T_4 + T_3$) et leurs précurseurs (MIT et DIT).*

Au printemps, la concentration relative des hormones croît de 8,5 p. 100 ($0,2 < p < 0,3$) par rapport à l'hiver. Le rapport $\frac{\text{MIT}}{\text{DIT}}$ s'élève, alors que le bloc MIT + DIT reste relativement constant, l'hormone synthétisée pourrait être de la T_4 . C'est ce que confirment les rapports $\frac{T_4 + T_3}{\text{MIT} + \text{DIT}}$ et $\frac{T_4 + T_3}{\text{DIT}}$: le premier varie très peu; le second augmente de 16,2 p. 100 et indique une hormonogénèse accrue aux dépens de la DIT. En mai-juin, il apparaît une accélération importante de la synthèse hormonale ($+ 11,9$ p. 100; $0,2 < p < 0,3$), qui s'accroît de juillet à septembre. L'augmentation de $T_4 + T_3$ atteint $+ 30$ p. 100 ($p < 0,001$) par rapport à mars-avril. Entre ces 2 périodes, il se produit une mobilisation des tyrosines : DIT diminue de 13,5 p. 100 ($0,001 < p < 0,01$) et MIT de 14,6 p. 100 ($0,01 < p < 0,02$). La diminution de MIT peut s'expliquer, soit par un accroissement du taux de conversion de MIT en DIT, soit par l'utilisation de MIT dans la synthèse de T_3 . Le mécanisme en jeu ne peut être précisé par ces méthodes. La mobilisation des tyrosines entraîne, entre mars-avril et juillet-septembre, une chute de 14,1 p. 100 de MIT + DIT et une baisse légère de $\frac{\text{MIT}}{\text{DIT}}$; les rapports $\frac{T_4 + T_3}{\text{DIT}}$ et $\frac{T_4 + T_3}{\text{MIT} + \text{DIT}}$ augmentent respectivement de 51,1 et 52,6 p. 100. L'hormonogénèse accrue de l'été est suivie d'une chute de 44,6 p. 100 ($p < 0,001$) de $T_4 + T_3$ en octobre-novembre, qui s'accompagne d'une augmentation de MIT + DIT et d'une diminution des différents rapports, ce qui témoigne du ralentissement de l'hormonogénèse. Pendant l'hiver, il se produit une augmentation du taux hormonal intrathyroïdien : $+ 27,9$ p. 100 ($0,05 < p < 0,1$).

3. *Les iodures.*

La concentration relative de la thyroïde en iode minéral est constante (11 p. 100) de décembre à juin. En juillet-septembre, le taux d'iodures augmente brusquement de 42,5 p. 100 ($0,02 < p < 0,05$) par rapport à mai-juin. En décembre, il se produit un abaissement important de l'iode minéral intra-thyroïdien. La différence est de 33,3 p. 100 par rapport à juillet-septembre ($0,02 < p < 0,05$) et de 23,3 p. 100 par rapport à octobre-novembre ($0,2 < p < 0,3$).

TABEAU V

Concentrations relatives des composés iodés de la thyroïde au cours des saisons chez Microtus arvalis. (Le rendement exprime le pourcentage d'iode marqué récupéré en fin d'expérience, par rapport à la quantité versée sur la colonne.)

Période de l'année	En p. 100 de la radioactivité totale de la thyroïde					Rendement moyen des expériences	MIT + DIT	$\frac{\text{MIT}}{\text{DIT}}$	$\frac{T_3 + T_4}{\text{DIT}}$	$\frac{T_3 + T_4}{\text{MIT} + \text{DIT}}$
	Peptides iodés	MIT	DIT	I ⁻	T ₃ + T ₄					
Décembre	2,3 ±	37,9 ±	35,3 ±	11,5 ±	13,0 ±	98,3	72,2	1,07	0,37	0,18
Janvier	0,3	2,4	1,8	1,8	0,6					
Février										
Mars	2,0 ±	40,1 ±	32,7	11,0 ±	14,2 ±	98,0	72,8	1,23	0,43	0,19
Avril	0,3	1,3 ±	0,3	1,4	0,6					
Mai	1,7 ±	40,7 ±	29,8 ±	11,9 ±	15,9 ±	98,3	70,5	1,37	0,53	0,22
Juin	0,2	1,7	1,4	1,4	1,2					
Juillet	1,8 ±	34,3 ±	28,3 ±	17,2 ±	18,4 ±	97,7	62,5	1,21	0,65	0,29
Août	0,2	1,3	1,2	2,1	0,5					
Septembre										
Octobre	1,8 ±	38,2	33,5 ±	16,3 ±	10,2 ±	97,5	71,7	1,14	0,30	0,14
Novembre	0,4	1,7	1,9	1,9	1,6					

C. Variations saisonnières
des concentrations relatives des composés iodés minéraux
et organiques du plasma (tableau VI)

TABLEAU VI

Concentrations relatives des composés iodés du plasma au cours des saisons chez Microtus arvalis. (Le rendement exprime le pourcentage d'iode marqué récupéré en fin d'expérience, par rapport à la quantité versée sur la colonne.)

Période de l'année	P. 100 de la radioactivité totale du plasma			Rendement moyen des expériences p. 100
	$F_1 = I$	$F_2 = \text{protéines iodées}$	$F_3 = T_4 + T_3$	
Décembre	39,0 $\pm$ 3,1	2,7 $\pm$ 0,4	58,3 $\pm$ 3,4	95,9
Janvier				
Février				
Mars	23,7 $\pm$ 3,3	2,1 $\pm$ 0,4	74,2 $\pm$ 3,4	97,5
Avril				
Mai	20,2 $\pm$ 4,2	1,5 $\pm$ 0,4	78,3 $\pm$ 4,0	98,9
Juin				
Juillet	13,4 $\pm$ 2,4	1,4 $\pm$ 0,3	85,2 $\pm$ 2,7	97,0
Août				
Septembre				
Octobre	31,1 $\pm$ 7,2	3,4 $\pm$ 0,9	65,5 $\pm$ 6,3	97,9
Novembre				

La répartition du radioiode dans le plasma rend compte des variations observées dans la glande. Les pourcentages des différentes fractions iodées plasmatiques ont été évaluées au moyen du test résine.

1° LES PROTÉINES IODÉES

Elles sont présentes dans le plasma en faible proportion (3,4 p. 100 de l'iode plasmatique total) et subissent un cycle caractéristique. La concentration est minimale de mai à septembre; elle augmente beaucoup en automne (+ 138,6 p. 100; $0,02 < p < 0,05$), où elle est maximale, puis elle reste relativement élevée de décembre à février (+ 92,6 p. 100 par rapport à mai-septembre, $0,02 < p < 0,05$) et diminue en mars (— 23,0 p. 100; $0,3 < p < 0,4$)

2° LES HORMONES

La teneur relative du plasma en hormones circulantes est minimale de décembre à février. Elle augmente de 27,4 p. 100 ($0,001 < p < 0,01$) en mars,

puis de 5,4 p. 100 ($0,4 < p < 0,5$) en mai et encore de 8,8 p. 100 ($0,02 < p < 0,05$) en juillet où elle est maximale. En octobre-novembre, il apparaît une diminution très sensible ($- 23,0$ p. 100, $p < 0,001$) qui se poursuit en décembre-février ($- 11,1$ p. 100 par rapport à octobre-novembre; $0,2 < p < 0,3$).

3° LES IODURES

Ils subissent des variations importantes au cours des saisons, qui sont inverses par rapport à celles des hormones : minimum en juillet-septembre; élévation considérable en octobre-novembre ($+ 132,3$ p. 100; $0,02 < p < 0,05$), puis en décembre-février ($+ 25,4$ p. 100 par rapport à octobre-novembre; $0,2 < p < 0,3$); la concentration diminue ensuite progressivement de mars-avril à juillet-septembre ($- 43,3$ p. 100; $0,02 < p < 0,05$). Il s'établit donc un équilibre entre l'iode minéral thyroïdien et l'iode minéral plasmatique, qui dépend essentiellement du besoin hormonal de l'organisme et de la vitesse des synthèses.

D. Conclusions

Ces résultats montrent que les composés hormonaux thyroïdiens subissent, chez le Campagnol, des variations saisonnières parallèles à celles de la structure histologique de la thyroïde et du métabolisme de base, déterminées précédemment chez ce Rongeur. Il existe toutefois, une dissociation entre synthèse et excrétion en hiver : en décembre-février, le pourcentage de $T_4 + T_3$ s'abaisse dans le plasma, alors qu'il s'élève dans la thyroïde; vraisemblablement, il se produit sous l'action du stimulus froid, une utilisation périphérique de l'hormone circulante plus rapide que la synthèse thyroïdienne, limitée par l'hypofonctionnement hypophysaire hivernal. A moins que, pendant l'hiver, la glande sécrète et n'excrète pas; il y aurait alors une mise en réserve des hormones dans la glande. Par ailleurs, le cycle des iodures comporte un fait apparemment paradoxal : la présence en juillet-septembre d'une quantité importante d'iodures dans la thyroïde, alors que les processus de synthèse et de sécrétion sont accélérés et que la quantité accrue d'hormones circulantes devrait ralentir la stimulation hypophysaire et, de ce fait, la fixation d'iode. Il est possible que les iodures stockés dans la thyroïde proviennent de la déshalogénéation locale des iodotyrosines; ainsi libérés, ils seraient réutilisés par la glande. Par contre, en octobre-novembre, le pourcentage d'iodures dans la thyroïde, toujours élevé, s'explique par la diminution de l'hormogénèse et le taux plus faible d'hormones circulantes. En décembre, le taux d'iode minéral intrathyroïdien s'abaisse alors que la concentration relative hormonale de la thyroïde reste faible. Cette chute pourrait être consécutive à une hypoactivité hypophysaire saisonnière de l'animal, directement liée à l'influence de facteurs extérieurs.

DISCUSSION

L'ensemble de notre expérimentation nous a permis d'établir, chez les Microtinés capturés en Auvergne, un cycle saisonnier du métabolisme de base et de la glande thyroïde [RICAUDIÈRE (48)]. On admet en général, que le métabolisme de base est un test fidèle de l'activité thyroïdienne. Le cycle du métabolisme de base aurait donc pour cause première le cycle de la glande thyroïde. Peut-on affirmer ce fait pour les Microtinés, en nous basant sur nos résultats?

I. RÔLE DE LA THYROÏDE ET DES AUTRES GLANDES ENDOCRINES DANS LE DÉTERMINISME DU CYCLE SAISONNIER DU MÉTABOLISME DE BASE.

1° RÔLE DE LA THYROÏDE

Les cycles histologique et hormonal de la thyroïde sont très comparables (tableau VII).

TABLEAU VII

Variations saisonnières du métabolisme de base, du test histophysiologique A p. 100 et des hormones ($T_4 + T_3$) de la thyroïde et du plasma, chez Microtus arvalis de sexe mâle.

Période	M. B. Cal/m ² /h	A °	T ₄ + T ₃	
			Thyroïde	Plasma
Décembre	49,6	29,1	13,0	58,3
Janvier	+ 0,7	+ 1,6	± 0,6	± 3,4
Février				
Mars	50,2	46,6	14,2	74,2
Avril	± 1,1	± 3,4	± 0,6	± 3,4
Mai	52,2	68,8	15,9	78,3
Juin	± 1,7	± 4,0	± 1,2	± 4,0
Juillet	57,2	76,1	18,4	85,2
Août	+ 1,2	± 3,5	± 0,5	+ 2,7
Septembre				
Octobre	52,0	46,1	10,2	65,5
Novembre	+ 1,6	+ 6,9	± 1,6	+ 6,3

Au printemps, l'activation des follicules thyroïdiens s'accompagne d'une augmentation progressive de la synthèse et de la sécrétion hormonales. A l'hyperstimulation histologique estivale de la glande, correspond une hormono-

genèse extrêmement importante et, à la mise au repos hivernale morphologique, correspond une chute des concentrations hormonales thyroïdienne et plasmatique. Toutefois, il existe en hiver une certaine dissociation entre l'état histologique, la synthèse et l'excrétion des hormones. Alors que la glande thyroïde présente un repos histologique plus ou moins complet, on constate, par rapport à l'automne, une augmentation des hormones intrathyroïdiennes, tandis que le pourcentage des hormones plasmatiques diminue encore. En fait, cette dissociation n'est qu'apparente. Deux hypothèses sont possibles : ou bien la thyroïde synthétise en hiver une faible quantité d'hormones, mais le blocage de l'excrétion ou la non-utilisation de ces hormones à la périphérie, provoque un stockage dans la thyroïde. Ou bien il se produit, sous l'action du froid, une mobilisation des hormones circulantes plus rapide que la synthèse thyroïdienne, limitée pendant cette période de l'année par un ralentissement de la fonction thyrotrope de l'hypophyse. L'augmentation légère de la synthèse hormonale en hiver serait en rapport avec le fait que quelques follicules centraux restent en activité au sein de la glande thyroïde au repos, le petit nombre de ces follicules en activité ne modifiant pas la valeur du test A p. 100 qui est très faible pendant cette période. En définitive la comparaison, de période à période, du métabolisme de base et de l'activité thyroïdienne, met en évidence la similitude des deux cycles. Comme on connaît par ailleurs l'influence importante de la glande thyroïde dans la régulation des échanges, on peut donc admettre que le cycle saisonnier du métabolisme de base a pour cause principale le cycle de la glande thyroïde. Toutefois, en hiver, la diminution du niveau métabolique des Microtinés paraît relativement faible par rapport au ralentissement considérable de l'activité thyroïdienne mesurée par les tests histophysiologiques et la teneur en hormones thyroïdiennes. L'existence, chez ces mêmes Rongeurs, de cycles saisonniers de la glycémie et des amines médullaires [BRUDIEUX et DELOST (8 et 9)] pourrait peut-être fournir une explication à ce phénomène.

2^o RÔLE DES AMINES MÉDULLAIRES ET DU GLUCOSE

Pendant l'hiver, il se produit, vraisemblablement sous l'action du froid, une augmentation de la teneur surrénalienne en adrénaline [BRUDIEUX et DELOST (8 et 9)]. Il est probable que ce fort pourcentage d'adrénaline entraîne une augmentation des oxydations cellulaires, augmentation limitée par ailleurs par la baisse des hormones thyroïdiennes, qui sensibilisent normalement les tissus à l'action de l'adrénaline. Ainsi, l'abaissement hivernal, du niveau du métabolisme de base, consécutif au repos plus ou moins complet de la thyroïde, pourrait être, en partie, compensé par un apport d'énergie provenant du pouvoir oxydatif de l'adrénaline. A cette action de l'adrénaline peut s'ajouter, en outre, celle du *glucose* : le taux de glucose dans le sang reste relativement élevé chez le Campagnol en hiver, alors qu'il baisse fortement en été [BRUDIEUX et DELOST (7)]. Ceci pourrait traduire une mobilisation du glucose à des fins métaboliques; l'on peut supposer qu'il se produit une augmentation des oxydations destinée à compenser la diminution des hormones thyroïdiennes pendant cette période. Ces deux phénomènes, qui intervien-

draient dans l'équilibre des oxydations, demandent des démonstrations complémentaires.

3° RÔLE ÉVENTUEL DES AUTRES GLANDES ENDOCRINES

Si l'on admet que le cycle du métabolisme de base est directement lié au cycle de la thyroïde et plus accessoirement au cycle des amines médullaires et de la glycémie, il reste à connaître les facteurs internes ou externes qui déterminent ces cycles. Parmi les facteurs internes, il faut insister sur le rôle du complexe hypothalamo-hypophysaire. Pour DELOST (12) la plupart des glandes endocrines périphériques participent au cycle endocrinien saisonnier qui serait donc consécutif à un cycle saisonnier du complexe hypothalamo-hypophysaire. En outre, les corrélations endocriniennes laissent supposer que le repos ou la pleine activité de l'une des glandes retentit plus ou moins sur l'état de stimulation de toutes les autres. L'influence des différentes glandes endocrines sur la thyroïde, bien que manifeste, n'est pas extrêmement précise; selon les auteurs, elle peut être soit stimulante, soit inhibitrice. Chez les Microtinés, le repos hivernal des glandes sexuelles peut être assimilé à une véritable castration physiologique. Or DELOST et DELOST (18 et 19) n'ont pu mettre en évidence, chez ces Rongeurs, une action caractéristique de la castration sur l'activité thyroïdienne, pas plus qu'une action de la gestation et de la lactation.

En conclusion, le cycle saisonnier du métabolisme de base des Microtinés paraît être essentiellement dû au cycle saisonnier de la thyroïde, lui-même consécutif au cycle de l'hypophyse, qui est directement déterminé par les facteurs du milieu extérieur; parmi ceux-ci il faut citer la température, la lumière, la nutrition, l'activité générale de l'individu, la population, etc. Personnellement nous avons étudié les effets du facteur température, dont l'influence sur l'activité thyroïdienne et les échanges gazeux paraît particulièrement importante [RIGAUDIÈRE et DELOST (49); RIGAUDIÈRE (44, 45)].

II. PROBLÈMES DE THERMORÉGULATION POSÉS CHEZ LES MICROTINÉS PAR LE CYCLE SAISONNIER DU MÉTABOLISME DE BASE ET DE LA THYROÏDE.

Les Microtinés, homéothermes à part entière si l'on considère uniquement le maintien de la température centrale constante en toute saison, présentent un cycle métabolique et thyroïdien, qui est inverse de celui des Homéothermes parfaits (échanges gazeux et activité thyroïdienne accrus en hiver) et comparable à celui des Hibernants. En *été*, l'accroissement de la dépense énergétique est en partie à mettre sur le compte de l'activité générale de l'animal: sorties nombreuses, mise en réserve de la nourriture pour l'hiver, etc.; il relève surtout de l'activité physiologique intense à cette saison de l'année, car alors, toutes les glandes endocrines atteignent leur maximum de stimulation et l'animal est en pleine période de reproduction. Pendant l'*hiver*, les Microtinés se compor-

tent comme des Homéothermes parfaits en maintenant constante leur température centrale; toutefois, ils présentent à cette époque des modifications physiologiques caractéristiques des Hibernants : diminution du métabolisme de base, ralentissement de l'activité thyroïdienne, etc. Mais alors que chez l'hibernant l'involution thyroïdienne entraîne l'hypothermie et le sommeil hivernal, on n'assiste pas chez les Microtinés à un tel retranchement dans la léthargie. Il se pose donc le problème du maintien de l'homéothermie en hiver chez ces petits Mammifères non-hibernants.

Pour maintenir leur température constante pendant la saison froide, les Microtinés ne disposent pas d'un système de *thermorégulation chimique* efficace : les échanges sont diminués par rapport à l'été, la thyroïde est hyperactive; l'adrénaline, bien qu'abondante dans ces espèces pendant l'hiver, est peut-être moins efficace, du fait de la diminution du taux des hormones thyroïdiennes. D'autre part, l'adrénaline intervient normalement dans les réactions lentes; il paraît difficile d'admettre que l'adrénaline puisse suppléer les hormones thyroïdiennes, car ces hormones mettent en jeu des processus d'oxydations cellulaires différents : l'un utilise les lipides, les autres les glucides. Un autre processus fondamental de la thermorégulation chimique est le frisson. Il pourrait être particulièrement développé chez les Microtinés. Toutefois, un fait va à l'encontre d'une telle hypothèse : l'importante augmentation des oxydations au niveau des muscles, mise en jeu dans ce phénomène réflexe, paraît incompatible avec la diminution du métabolisme de base que l'on observe. Ainsi, les Microtinés ont en hiver un système de thermorégulation chimique apparemment déficient (autrement dit plus économique), par conséquent leur thermogenèse est diminuée. Quels sont donc leurs moyens de lutte contre le froid ? Il est possible que, pendant l'hiver, la thyroïde sécrète une hormone métaboliquement plus active, telle que la triiodothyronine ou autres substances iodées actives. Il n'en reste pas moins que les échanges sont diminués par rapport à l'été. Il faut alors chercher une compensation du côté de la *thermorégulation physique*. Celle-ci peut-elle pallier totalement le défaut de régulation chimique ?

Ces animaux disposent vraisemblablement d'un ensemble de mécanismes qui tendent à diminuer le plus possible la thermolyse. Parmi ceux-ci, les *réflexes pilomoteurs*, la diminution de la *perte de chaleur par vaporisation pulmonaire*, l'*attitude corporelle* en boule, etc., sont les plus classiques; ils n'ont pas fait l'objet d'une étude particulière chez les Microtinés. Par contre, un mécanisme très efficace contre la déperdition de chaleur est constitué par l'*épaississement du pelage* et l'*augmentation du tissu adipeux sous-cutané*. On a montré, chez les Microtinés et espèces voisines, que l'isolement par la fourrure augmentait de 5 à 20 p. 100 pendant l'hiver [BOROWSKI (6); GEBZYNSKI et OLSZEWSKI (27)]. D'autre part, HART et HEROUX (30), étudiant le métabolisme en fonction du pouvoir isolant de la fourrure chez la Souris sauvage (*Peromyscus maniculatus gracilis*) du Canada, constatent qu'en hiver l'augmentation de l'isolement ne peut à elle seule expliquer toute la réduction observée de la déperdition de chaleur. Ils en déduisent qu'un autre processus doit nécessairement intervenir. Ce second processus, venant limiter

la perte de chaleur au froid après adaptation prolongée à température basse et variable, serait une efficacité plus grande des *réactions vasomotrices* réglant le transport de chaleur de la profondeur à la surface. Ainsi, les Microtinés pourraient se ranger dans un groupe à part, entre les Homéothermes parfaits (thermorégulations chimique et physique bien développées pendant l'hiver) et les Hibernants (thermorégulation rudimentaire). Leur défaut de régulation chimique serait compensé par une régulation physique particulièrement développée et un isolement meilleur.

Enfin, il est intéressant de remarquer que les phénomènes mis en évidence chez les Rongeurs non-hibernants vivant dans la nature, sont tout à fait comparables aux modifications adaptatives observées chez le Rat, né et élevé au froid, telles que les ont décrites BARGETON, EON, KRUMM-HELLER, LIBER-MANN et MASSON (3). BARGETON (2) conclut, par ailleurs, que l'adaptation au froid la plus efficace et la plus économique, s'observe chez les animaux en liberté sous l'effet des variations climatiques saisonnières. Chez ces animaux, la régulation physique est primordiale; la régulation chimique apparaît comme une seconde ligne de défense, qui entre en jeu lorsque la régulation physique est débordée. Notre étude systématique des cycles métabolique et thyroïdien chez les Microtinés, vérifie pleinement cette conclusion établie d'après un ensemble d'observations faites par différents auteurs, sur l'animal domestique et l'animal sauvage.

CONCLUSIONS

De l'étude du métabolisme de base et de la thyroïde au cours des saisons chez les Microtinés de la région clermontoise, on peut retenir les faits suivants :

1. *Le métabolisme de base* subit un cycle annuel : la dépense énergétique est minimale en hiver, puis elle s'élève progressivement à partir du printemps pour atteindre son maximum en été; elle décroît ensuite à partir d'octobre-novembre.

2. *Le cycle histologique de la thyroïde*, évalué par les tests histophysiologiques, est caractéristique; il comprend quatre périodes : repos en hiver, reprise de la stimulation en mars, maximum d'activation par TSH de mai à septembre, régression de la stimulation à partir d'octobre.

3. *Le cycle annuel des hormones thyroïdiennes*, évalué par l'iode marqué est comparable au cycle histologique. La concentration hormonale de la thyroïde et du plasma augmente au printemps. Pendant la période mai-septembre, il se produit une accélération importante de la synthèse, de l'excrétion et de l'utilisation périphérique des hormones. En octobre-novembre, l'hormonogénèse se ralentit considérablement et la concentration relative des hormones dans la thyroïde et dans le plasma s'abaisse brusquement. Cette diminution se poursuit en hiver dans le plasma, alors que dans la thyroïde le pourcentage des hormones augmente légèrement. Le cycle des iodotyrosines

est commandé par celui des hormones. Il existe également un cycle des iodures qui est, dans la thyroïde, parallèle à celui des hormones et inversé dans le plasma.

4. La similitude des cycles saisonniers métabolique, histophysiologique et hormonal montre que le cycle annuel du *métabolisme de base* a pour cause essentielle le cycle de la glande thyroïde. Le rôle éventuel des autres glandes endocrines est discuté, ainsi que les problèmes d'homéothermie et de thermorégulation posés par ces résultats chez les Microtinés.

BIBLIOGRAPHIE

1. BAILEY E. D., *Canad. J. Zool.*, 1965, **43**, 905. — 2. BARGETON D., Le comportement des Homéothermes vis-à-vis du stimulus froid, *Colloques nationaux du C.N.R.S.*, 1955, **47**. — 3. BARGETON D., EON M., KRUMM-HELLER C., LIBERMANN C., MASSON J., *J. Physiol.*, 1954, **46**, 845. — 4. BARGETON D., KRUMM-HELLER C., *C. R. Soc. Biol.*, 1948, **147**, 147. — 5. BLANQUET P., MEYNIEL G., SAVOIE J. C., *C. R. Acad. Sc.*, 1960, **250**, 217. — 6. BOROWSKI S., *Acta Theriol. Pologne*, 1959, **14**, 286. — 7. BRUDIEUX R., DELOST P., *C. R. Soc. Biol.*, 1964, **158**, 2328. — 8. BRUDIEUX R., DELOST P., *C. R. Soc. Biol.*, 1965, **159**, 682. — 9. BRUDIEUX R., DELOST P., *J. Physiol.*, 1965, **57**, 259. — 10. DELOST P., *C. R. Soc. Biol.*, 1951, **145**, 377. — 11. DELOST P., *C. R. Soc. Biol.*, 1953, **147**, 264. — 12. DELOST P., *Ann. Nut. et Alim.*, 1960, **14**, 53. — 13. DELOST P., Proceedings First Intern. Conference on Wildlife disease, New York, *Wildlife Disease Association Card.* 7, 1962, 219. — 14. DELOST P., *C. R. Soc. Biol.*, 1965, **159**, 654. — 15. DELOST P., *Biologie comparée des cycles génitaux saisonniers, Entretiens de Chizé*, 1967. — 16. DELOST P., DELOST H., *C. R. Soc. Biol.*, 1964, **148**, 1788. — 17. DELOST P., DELOST H., *C. R. Soc. Biol.*, 1955, **149**, 910. — 18. DELOST P., DELOST H., *J. Physiol.*, 1957, **49**, 128. — 19. DELOST P., DELOST H., *C. R. Soc. Biol.*, 1957, **151**, 1317. — 20. DELOST P., NAUDY J., *C. R. Soc. Biol.*, 1956, **150**, 906. — 21. DELOST P., VINCENT A.-M., *J. Physiol.*, 1955, **47**, 167. — 22. EICKOFF W., *Z. Pathol.*, 1957, **68**, 11. — 23. ELEFTHERIOU B. E., ZARROW M. X., *Proc. Soc. exp. Biol. and Med.*, 1962, **110**, 128. — 24. GEB CZYNSKA Z., GEBZYNSKI M., *Acta Theriol. Pologne*, 1965, **10**, 209. — 25. GEB CZYNSKI M., *Acta theriol. Pologne*, 1966, **11**, 14. — 26. GEB CZYNSKI M., *Acta theriol. Pologne*, 1966, **11**, 391. — 27. GEB CZYNSKI M., OLSZEWSKI J., *Acta theriol. Pologne*, 1963, **7**, 399. — 28. GRODZINSKI W., Fourth International Biometeorological Congress, Rutgers University New Brunswick, N. J., 1966. — 29. GRODZINSKI W., GORECKI A., *Secondary productivity of terrestrial ecosystems*, Warszawa-Krakow, 1957, 315. — 30. HART J. S., HEROUX O., *Canad. J. Zool.*, 1953, **31**, 528. — 31. HART J. S., HEROUX O., *Canad. J. Biochem. Physiol.*, 1955, **33**, 428. — 32. HART J. S., POHL H., TENER J. S., *Canad. J. Zool.*, 1965, **43**, 731. — 33. HOFFMAN R. A., KIRKPATRICK C. M., *The J. of Wildlife Management*, 1960, **24**, 421. — 34. KALABUKHOV N. I., *Bjull. Msskovsk. Obshch. ispitatel. Prirody Otdelbiol.*, 1953, **58**, 25. — 35. KAYSER C., ARON M., *Arch. Anat. Hist. et Embryol.*, 1950, **33**, 21. — 36. LADYGYN N. M., *J. Physiol.*, 1952, **5**, 783. — 37. MEYNIEL G., BLANQUET P., BERGER J. A., CROIZET M., GAILLARD G., *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1965, **47**, 99. — 38. MORRISON P. R., PEARSON O. P., *Science*, 1946, **104**, 287. — 39. OSIBA S., *Jap. J. Physiol.*, 1957, **7**, 355. — 40. PAPANYAN S B., *Zool. Zh. S.S.S.R.*, 1963, **42**, 1245. — 41. PEARSON O. P., *Ecology*, 1947, **28**, 127. — 42. PONSE K., *Ann. Endocrinol.*, 1951, **12**, 266. — 43. PORTET R., CHEVILLARD L., *C. R. Soc. Biol.*, 1964, **158**, 1215. — 44. RIGAUDIÈRE N., *C. R. Soc. Biol.*, 1966, **160**, 1577. — 45. RIGAUDIÈRE N., *C. R. Soc. Biol.*, 1967, **161**, 1554. — 46. RIGAUDIÈRE N., *C. R. Soc. Biol.*, 1968, Séance du 26 juin, Clermont-Ferrand. — 47. RIGAUDIÈRE N., *C. R. Soc. Biol.*, 1968, Séance du 26 juin, Clermont-Ferrand. — 48. RIGAUDIÈRE N., *Thèse Doctorat ès Sciences*, Clermont-Ferrand, 1968, 172 p. — 49. RIGAUDIÈRE N., DELOST P., *C. R. Soc. Biol.*, 1965, **159**, 678. — 50. SASAKI T., *Feder. Proc.*, 1966, **25**, 1165.

PLANCHE

*Aspect histophysiologique de la thyroïde aux différentes saisons de l'année,
chez Microtus arvalis adulte capturé dans la région clermontoise*

1. Animal capturé en janvier. — Thyroïde au repos. — Épithélium aplati, grandes vésicules, colloïde abondante et homogène ($\times 320$).
2. Animal capturé en mars. — Reprise de la stimulation thyroïdienne. — Épithélium stimulé, petites vésicules, vacuoles de résorption dans la colloïde ($\times 320$).
3. Animal capturé en juillet. — Pleine activité thyroïdienne. — Épithélium très fortement stimulé, lumière de la vésicule collabée, colloïde résorbée ($\times 320$).
4. Animal capturé fin octobre. — Ralentissement de l'activité thyroïdienne. — Diminution de la hauteur de l'épithélium, grandes vésicules, colloïde abondante avec vacuoles de résorption ($\times 320$).
5. Animal capturé en juillet. — Goître hyperplasique végétant et sécrétant. — Hyperdéveloppement de la glande thyroïde; hyperplasie des vésicules; épithélium végétant avec noyaux au pôle apical; résorption de la colloïde ($\times 125$).
6. La même que la précédente à un plus fort grossissement ($\times 320$).

